

Z. Geomorph. N. F.	15	3	339-347	Berlin · Stuttgart	September 1971
--------------------	----	---	---------	--------------------	----------------

Das Elektronenmikroskop im Dienste geomorphologischer Forschung

von

K. HEINE, Bonn

mit 3 Figuren und 4 Photos

Zusammenfassung. Anhand einiger Beispiele wird gezeigt, daß das elektronenmikroskopische Bild der Boden-Tonsubstanz bei der Aufklärung geomorphologischer Probleme helfen kann.

Summary. Some examples show that the electron-microscopic picture of the soil-clay-material is able to help with the explanation of geomorphologic problems.

Résumé. A la lumière de quelques exemples, il est montré que les images des substances argileuses des sols fournies par l'électromicroscope peuvent servir à éclaircir certains problèmes géomorphologiques.

Immer häufiger werden pedologisch-sedimentologische Untersuchungen als geomorphologische Methoden bei der Bearbeitung geomorphologischer Sachverhalte eingesetzt (LESER 1966, FRÄNZLE 1965, ELHAÏ 1963, HEINE 1970 u. a.). Eine besondere Bedeutung hat dabei die Untersuchung der Tonsubstanz erlangt. Neben chemischen Analysen finden vor allem die Röntgen- und die Differential-Thermo- (= D.T.) Analyse Anwendung. Die letztgenannten Methoden haben sich gut bei der Identifizierung der Tonminerale bewährt; dabei spielt einerseits die quantitative Bestimmung der verschiedenen Tonminerale eine Rolle, andererseits die qualitative Analyse einer bestimmten Tonsubstanz.

Doch leider scheint es, daß verschiedene Faktoren, die die Aussagekraft der Röntgen- und der D.T.-Analyse beeinträchtigen, oft nicht in genügender Weise berücksichtigt werden. So wird beispielsweise im Zusammenhang mit fossilen Bodenbildungen oft bei der Röntgenanalyse aus starken Interferenzen des Kaolinit ($d_{001} = 7.18 \text{ \AA}$, $d_{002} = 3.58 \text{ \AA}$) bzw. bei der D.T.A. aus starken Ausschlägen (endothermer Effekt zwischen 550 und 600° C, exothermer Effekt bei 950° C)

auf Alter und Genese des Kaolinit-haltigen Materials geschlossen, wobei die genannten Kriterien in der Weise gedeutet werden, daß nämlich die starken Interferenzen bzw. Ausschläge auf ein hohes, meist tertiäres Alter deuten, auf eine Bildung des Kaolinitis unter tropischen bis subtropischen Klimabedingungen. Eine derart vorgenommene Interpretation der Analysendaten der Röntgen- und D.T.-Analyse ist mit größter Vorsicht zu betrachten, denn folgende Faktoren können die Analysenwerte beeinflussen: Bei der quantitativen röntgenographischen Bestimmung der Tonminerale hängt die Intensität der Interferenzlinien von der Orientierung (Textur) der Tonteilchen im Präparat ab; auch der Ordnungsgrad

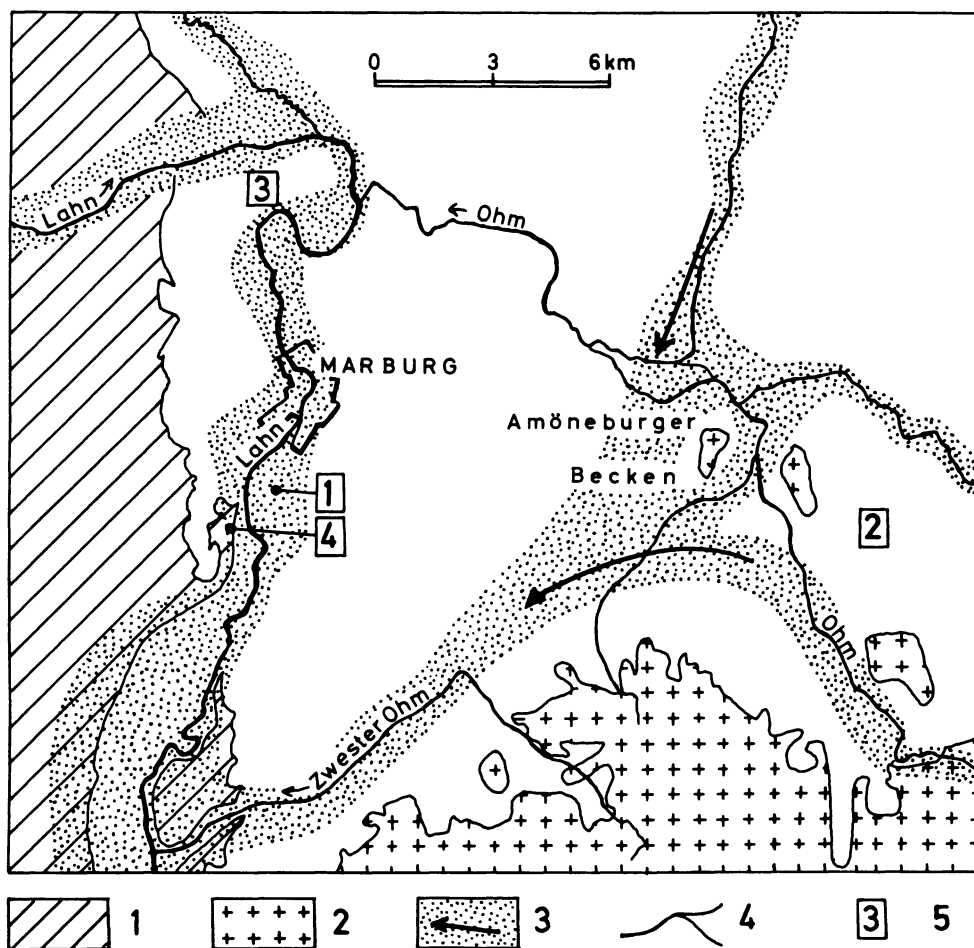


Fig. 1. Altquartäre Entwässerung im Marburger Raum. 1 = Perm und ältere Formationen, 2 = basaltisches Tertiär (Vogelsberg), 3 = altquartäre Talböden und Entwässerungsrichtung, 4 = rezente Flußläufe, 5 = Orte der Probenahme.

der Tonmineralgitter hat einen bedeutenden Einfluß auf die Röntgeninterferenzlinien. Bei der D.T.A. kann sich die Lage der Minima und Maxima der Kurve durch verschiedene Beimengungen, wie organische Stoffe oder amorphe Substanzen, sowie die unterschiedliche Teilchengröße und den innerkristallinen Zustand der Teilchen stark ändern. Hinzu kommt der Umstand, daß die Röntgen- und die D.T.-Analyse eine Unterscheidung verschiedener Tonminerale nicht zulassen (z. B. Kaolinit und Halloysit). Ebenfalls ist es nicht möglich, mit Hilfe der genannten Methoden Tonminerale nachzuweisen, die nur in Spuren in dem Material auftreten, die jedoch für die Lösung mancher Probleme von Bedeutung sein können. Hier ist die Anwendung des Elektronenmikroskops als zusätzliche Methode bei der Untersuchung der Tonsubstanz von besonderem Wert. Einige Beispiele mögen das veranschaulichen (vgl. dazu die Photos 1–4 und die Fig. 2 u. 3)¹.

Spuren von Halloysit können allein durch das elektronenmikroskopische Bild in einem Boden oder Sediment nachgewiesen werden, denn der Halloysit ist nur elektronenoptisch zuverlässig von dem Kaolinit zu unterscheiden. Oft aber ist gerade der Nachweis von großer Bedeutung, denn Halloysit scheint vorwiegend bei der Verwitterung vulkanischen Materials zu entstehen (HOSTERMANN 1960, AOMINE & MIYAUCHI 1963, MÜCKENHAUSEN 1964 u. a.). Mit Hilfe elektronenmikroskopischer Untersuchungen konnte in den Terrassenschottern der Mittellahn bei Marburg Halloysit in den würm-, riß- und mindelzeitlichen Ablagerungen nachgewiesen werden, während die günzzeitlichen Terrassenschotter erst unterhalb des Zwerster Ohm-Zuflusses das Tonmineral Halloysit führten. Vergleichsuntersuchungen ergaben, daß von den rezenten Flüssen nur diejenigen Halloysit in geringen Mengen in ihren Sedimenten aufweisen, die ihr Einzugsgebiet wenigstens zum Teil im basaltischen Vogelsberg haben. Aufgrund der elektronenmikroskopisch ermittelten Halloysitführung der Terrassenschotter konnte eine Flußverlegung der Ohm rekonstruiert werden, die sich während der Mindelzeit abgespielt haben muß und die zur Umkehrung des gesamten Entwässerungssystems im Amöneburger Becken führte (Fig. 1, Photo 1). Das elektronenmikroskopische Bild ist der einzigste, naturwissenschaftlich exakt fundierte Beweis für diese Vorgänge, denn weder die Beobachtungen im Gelände, noch morphometrische, granulometrische, petrographische, mineralogische und pedologische Untersuchungen konnten einwandfreie Kriterien für die Flußumkehr und deren zeitliche Fixierung liefern (HEINE 1970 a, vgl. auch H. D. LANG 1955).

In einem anderen Fall war es möglich, das Elektronenmikroskop sinnvoll bei der Klärung geomorphologischer Probleme einzusetzen. Besonders nördlich Marburg/Lahn beobachtet man häufig Zonen mehr oder weniger intensiv gebleichten Sandsteins. Als Ursache für die Bleichung der Gesteine wird eine tiefgreifende Verwitterung unter feuchtem Tropenklima während der Kreide- und Tertiärzeit genannt. Aufgrund dieser Annahme wird aus dem Vorkommen intensiv gebleichter Sandsteine auf tektonische Vorgänge seit der Tertiärzeit (KOCKEL 1958, S. 141) und auf gewisse tertiäre Reliefverhältnisse geschlossen (LENZ 1966,

¹ Es wurden benutzt: Das Elektronenmikroskop Zeiss-AEG EM 8; die Röntgenapparatur Röntgen-Gerät Müller „Mikro 111“ mit Philips-Goniometer und automatischer Registrierung, $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ -Strahlung, 36 KV, 26 mA; die D.T.A.-Apparatur 404 der Fa. Gebr. Netzsch, Selb/Bay.

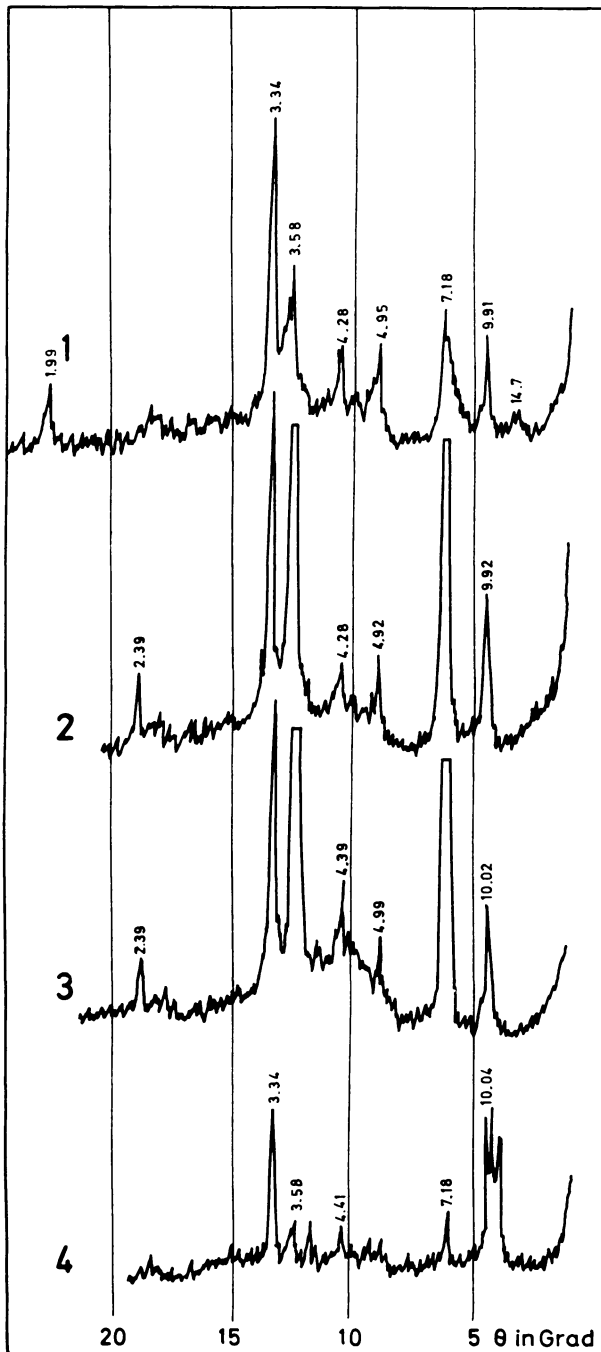


Fig. 2. Linienintensitäten des Röntgengoniometers der Proben 1 bis 4. Bei den Proben 1 und 4 ist den Diagrammen nicht zu entnehmen, daß sie in Spuren Halloysit (Probe 1) bzw. Sarospatakit (Probe 4) enthalten. Die Proben 2 und 3 unterscheiden sich im Röntgendiagramm nicht wesentlich voneinander; Entstehung und Ausbildung der Tonminerale sind nicht aus den Intensitätslinien ersichtlich.

S. 102 ff.). Eine röntgenographische und differentialthermoanalytische Untersuchung der Tonsubstanz gebleichter Sandsteine läßt einen hohen Kaolinitgehalt neben Illit vermuten, wie er als Folge tropisch-subtropischer Verwitterungsvorgänge angenommen werden darf (vgl. die Analysen einer echten tertiären Bodenbildung: Probe 2). Doch manche Beobachtungen im Gelände sprechen dennoch gegen eine pedogenetische Bildung des Kaolinites (HÖLTING & STENGEL-RUTKOWSKI 1964, S. 20 ff.). Die elektronenmikroskopischen Bilder (Photo 2 u. 3) führten schließlich zur Klärung der Gegensätze. Im Elektronenmikroskop wurden sehr gut ausgebildete Kaolinit- und Sarospatakitminerale sichtbar, wie sie in pedogenetischem Material noch nicht gefunden worden sind (HEINE 1970 c). Aus den Aufnahmen geht hervor, daß Kaolinit und Sarospatakit mit einem derart ausgezeichneten Kristallisationsvermögen nur unter hydrothermalen Bedingungen ge-

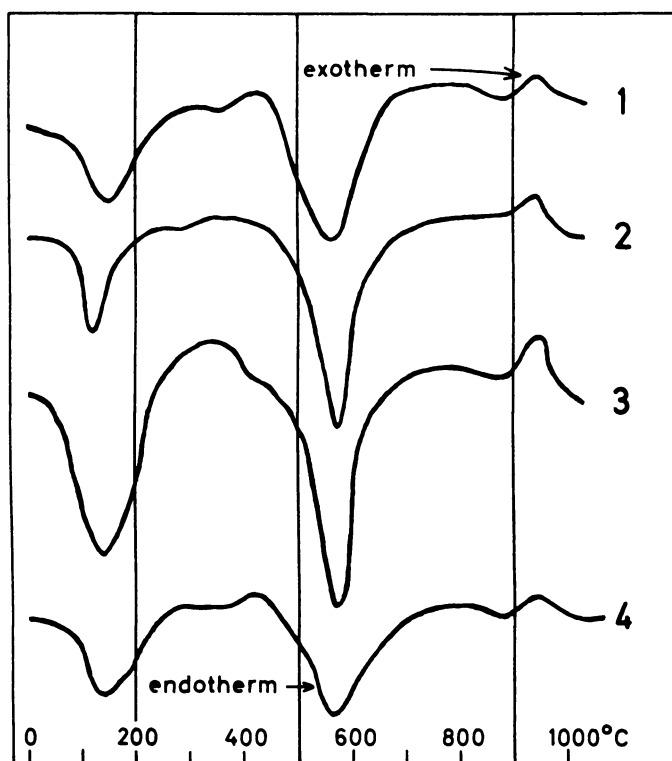


Fig. 3. D.T.A.-Kurven der Proben 1 bis 4. Die Probe 4 zeigt die geringsten endothermen und exothermen Reaktionen; sie entsprechen der geringen Verwitterungsintensität bzw. dem mäßigen Kristallisationsgrad besonders der Kaolinite. Die Proben 2 und 3 haben starke Ausschläge, die bei Probe 2 durch die Quantität, bei Probe 3 durch die Qualität (Ausbildung) des Kaolinites und Illits hervorgerufen werden; die unterschiedliche Genese des Kaolinites und die verschiedene Ausbildung des Illits (bei Probe 3 als Sarospatakit) ist nicht zu erkennen. Wie bei Probe 4 so ist auch bei Probe 1 nicht ersichtlich, daß ein Tonmineral lediglich in Spuren auftritt.

bildet werden können (MÜCKENHAUSEN 1964, BEUTELSPACHER & VAN DER MARREL 1968, S. 123). Das Vorkommen der gebleichten Sandsteine darf demnach also nicht herangezogen werden, wenn es gilt, das tertiäre Relief zu rekonstruieren oder tektonische Vorgänge zu diskutieren.

Für Aussagen über die tertiären Reliefverhältnisse des Westerwaldes wird die Arbeit von JARITZ (1966) wertvolle Hinweise geben. JARITZ untersucht die fossilen Tertiärböden, die bisher einer tertiären „Rotverwitterung“ zugeschrieben wurden, und stellte fest, daß neben echten roten Tertiärböden sogenannte rote vulkanogene Edaphoide vorkommen, die ihre Entstehung vulkanischen Prozessen verdanken. Unter den von ihm angewandten Untersuchungsmethoden spielt das Elektronenmikroskop eine entscheidende Rolle, speziell bei der Bestimmung der Tonmineralgarnitur der Verwitterungs- und Zersetzungsprodukte. Daß bei der Auswertung fossiler Böden, Bodenrelikte und Zersetzungsprodukte hinsichtlich geomorphologischer Vorgänge und Formen äußerste Vorsicht geboten ist, zeigen auch die Untersuchungen von MÜCKENHAUSEN (1964) an verschiedenen Bodentypen. Oft ist es nur mit Hilfe des Elektronenmikroskops möglich, die Bodenbildungen genauer anzusprechen. So können beispielsweise detailliertere Angaben über das Ausgangsmaterial, die bodenbildenden Faktoren, Umlagerungsprozesse, Beimischungen, hydrothermale Beeinflussung etc. gemacht werden (vgl. auch KVIKHOVIČ 1968, S. 10 ff.).

Eine pedologische Untersuchung verschiedener Würmlössen im Marburger Raum sollte Aufschluß über die Herkunftsgebiete des Materials geben (HEINE 1970 b). Auch hier bewährte sich der Einsatz des Elektronenmikroskops. Während sedimentpetrographische und Schwermineral-Analysen kaum weitreichende Aussagen erhoffen ließen, konnten im elektronenmikroskopischen Bild die Ergebnisse der anderen Untersuchungen bestätigt und verfeinert werden. Hierbei erlangten die Tonminerale, die einem bestimmten Herkunftsgebiet entstammen – wie z. B. der Sarospatakit und Sepiolith den gebleichten Zonen des Sandsteins, der Halloysit dem Vogelsberg – und nur in Spuren im Löß zu finden sind, besondere Bedeutung (Photo 4). Ihre Identifizierung ist allein durch das Elektronenmikroskop möglich, da andere Methoden, wie die Röntgen- und die D.T.-Analyse, die Tonminerale nicht direkt sichtbar machen und für entsprechende Untersuchungen zu unempfindlich sind.

Bisher sind die Erfahrungen, die im Zusammenhang mit geomorphologischen Untersuchungen gemacht worden sind, gering. Trotz aller Vorteile, die das Elektronenmikroskop bei der Analyse der Tonsubstanz bietet – das Forschungsobjekt wird direkt sichtbar gemacht, wogegen die anderen diesbezüglichen Methoden nur indirekte Feststellungen vermitteln –, sollte die elektronenoptische Bestimmung der Tonminerale nur als zusätzliche Methode Verwendung finden. Nur in Verbindung mit weiteren Beobachtungen und Untersuchungen ist das Elektronenmikroskop auch für den Geomorphologen, der sich naturwissenschaftlicher Methoden, die anderen Disziplinen entlehnt werden, bedient, von großem Wert, besonders wenn es darum geht, verfeinerte Aussagen vorzunehmen.

Herr Professor Dr. Dr. E. MÜCKENHAUSEN ermöglichte die Durchführung vieler Untersuchungen im Institut für Bodenkunde der Universität Bonn; ihm sei auch an dieser Stelle herzlich dafür gedankt.

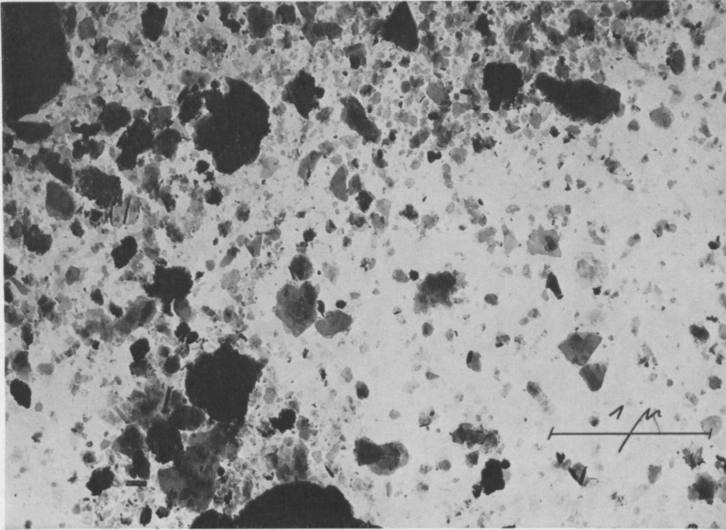


Photo 1. Elektronenmikroskopische Aufnahme mit Spuren von Halloysit (im linken unteren Bildteil). Der Halloysit wird in Form von Röhrchen, der Kaolinit in Form von pseudohexagonal umgrenzten Plättchen sichtbar. Die Probe 1 stammt aus den mindelzeitlichen Lahnschottern bei Marburg.

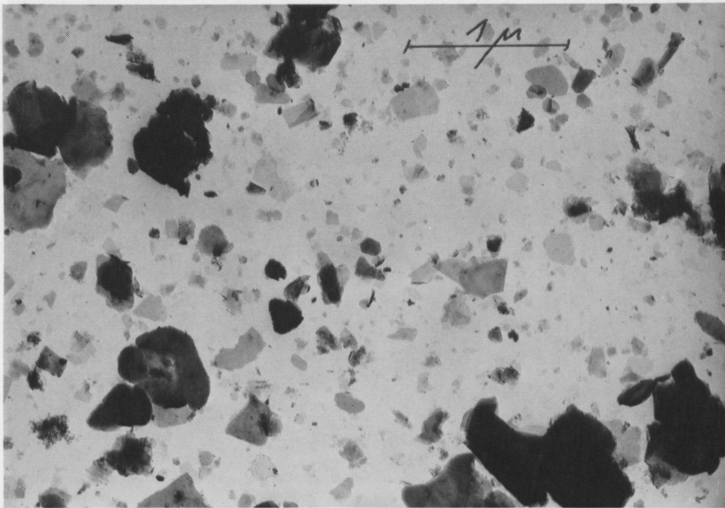


Photo 2. Elektronenmikroskopisches Bild eines tertiären Bodens (Probe 2) östlich des Amöneburger Beckens. Das Bild zeigt vorwiegend Kaolinit, Illit, Hydroglimmer, in Spuren Halloysit.

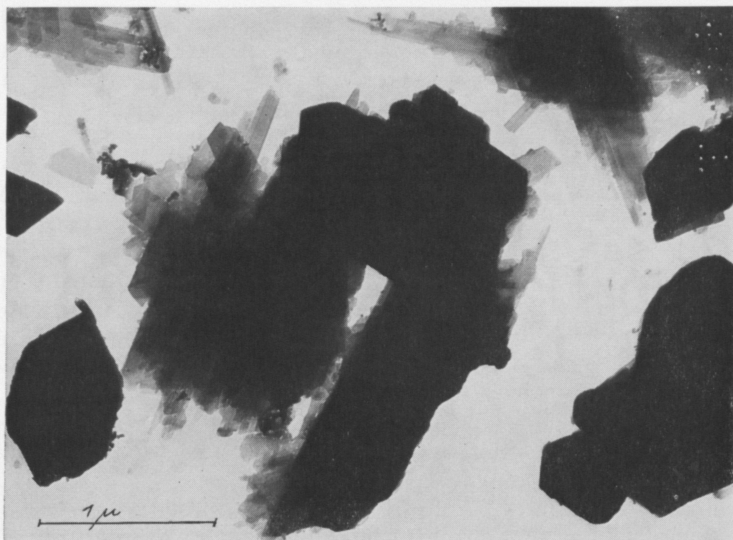


Photo 3. Elektronenmikroskopisches Bild der Tonsubstanz eines hydrothermal zersetzten Sandsteins. Deutlich sichtbar ist der leistenförmige Sarospatakit und der gutausgebildete Kaolinit. Die Probe 3 entstammt dem Mittleren Buntsandstein nördlich Marburg.

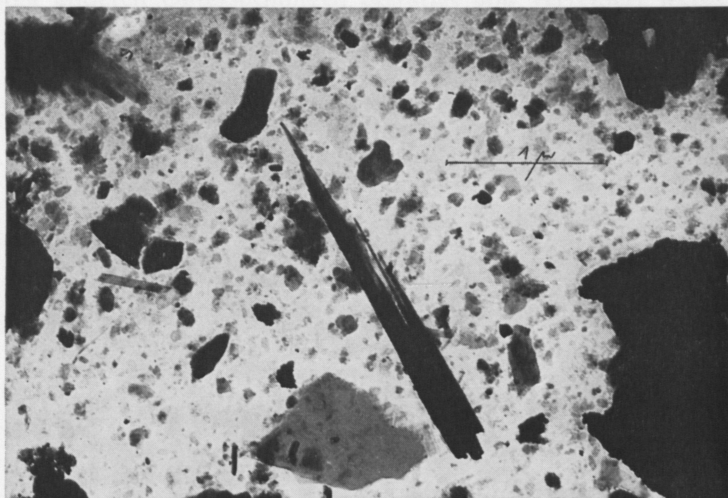


Photo 4. Elektronenmikroskopisches Bild der Tonfraktion eines Lösses. Sarospatakit und Sepiolith treten in Spuren auf (Leisten und Nadeln). Das Material der Probe 4 wurde dem Bv-Horizont eines Würmlösses im Lahntal südlich Marburg entnommen.

Literatur

- AOMINE, S. & N. MIYAUCHI (1963): Age of the youngest hydrated halloysite in Kyuchu. – *Nature*, 199: 1311–1312, (London).
- BEUTELSPACHER, H. & H. W. VAN DER MAREL (1962): Über Verbreitung und Bestimmung der Tonminerale der Kaolingrouppe in Böden. – *Landbauforsch. Völkenrode*, 12, 1: 14–24.
- (1968): *Atlas of Electron Microscopy of Clay Minerals and their Admixtures*. – Amsterdam.
- ELHAÏ, H. (1963): *La Normandie occidentale entre la Seine et le Golfe Normand-Breton, Étude morphologique*. – Bordeaux.
- FRÄNZLE, O. (1965): Die pleistozäne Klima- und Landschaftsentwicklung der nördlichen Poebene im Lichte bodengeographischer Untersuchungen. – *Abh. mat.-nat. Kl.*, 1965, 8: 330–470, Mainz.
- HEINE, K. (1970 a): Fluß- und Talgeschichte im Raum Marburg. – *Bonner Geogr. Abh.*, 42, Bonn.
- (1970 b): Einige Bemerkungen zu den Liefergebieten und Sedimentationsräumen der Löss im Raum Marburg/Lahn aufgrund tonmineralogischer Untersuchungen. – *Erdkunde*, XXIV, 3: 180–194, Bonn.
- (1970 c): Die Bleichung der Sandsteine bei Marburg/Lahn – eine hydrothermale Bildung. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, 98: 198–205, Wiesbaden.
- HÖLTING, B. & W. STENGEL-RUTKOWSKI (1964): Beiträge zur Tektonik des nordwestlichen Vorlandes des basaltischen Vogelsberges, insbesondere des Amöneburger Beckens. – *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, 47, Wiesbaden.
- HOSTERMANN, J. W. (1960): *Geology of the clay deposits in parts of Washington and Idaho*. – *Clays and Clay Minerals*, 7: 285–294, New York.
- JARITZ, G. (1966): Untersuchungen an fossilen Tertiärböden und vulkanogenen Edaphoiden des Westerwaldes. – *Diss. (landwirtsch. Fak.) Bonn*.
- KOCKEL, C. W. (1958): *Schiefergebirge und Hessische Senke um Marburg/Lahn*. – *Samml. Geol. Führer*, 37, Berlin.
- KVITKOVIČ, J. (1968): Die geomorphologischen Verhältnisse im NO-Teil des ostslowakischen Tieflandes. – *Würzburger Geogr. Arb.*, 22, III, Würzburg.
- LANG, H. D. (1955): Zur Flußgeschichte der Lahn. Ergebnis geröll-analytischer Untersuchungen in der Umgebung von Marburg/Lahn. – *Diss. (mat.-nat. Fak.) Marburg*, unveröff.
- LENZ, K. (1966): Das naturlandschaftliche Gefüge des Marburger Raumes. – *Marburger Geogr. Schr.*, 30: 97–110, Marburg.
- LESER, H. (1966): *Pedologisch-sedimentologische Untersuchungen als geomorphologische Methode*. – *Forsch. und Fortschr.*, 40, 10: 296–300, Berlin.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1964): Das elektronenmikroskopische Bild verschiedener Bodentypen. – 8th Intern. Congr. of Soil Sci., S. 1125–1133, Bucharest.
- MÜLLER, G. (1964): *Methoden der Sedimentuntersuchung*. – *Sediment-Petrol.*, T. 1, Stuttgart.

Anschrift des Verfassers:

Dr. K. HEINE, Geographisches Institut der Universität, 53 Bonn, Franziskanerstr. 2.